



УДК 681.586.785.3

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДВУХЧАСТОТНЫЙ РЕЗОНОНСНЫЙ ИЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НАНОДИСПЕРСНЫХ ЭМУЛЬСИЙ И СУСПЕНЗИЙ

DOUBLE-FREQUENCY RESONANT ULTRASONIC SOURCE FOR PRODUCING NANOSIZED EMULSIONS AND SUSPENSIONS

Лузгин Владислав Игоревич, канд. техн. наук, доцент каф. «Техника Высоких Напряжений», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: vil-26@el.ru. Тел.: +7(982)632-11-50

Коптяков Александр Сергеевич, аспирант, ассистент каф. «Техника Высоких Напряжений», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: a.s.koptakov@ya.ru. Тел.: +7(919)386-68-37

Кропотухин Сергей Юрьевич, зав. учебн. лаб. каф. «Техника Высоких Напряжений», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: s.j.kopotukhin@urfu.ru. Тел.: +7(908)904-78-52

Кривцова Елена Валентиновна, старший преподаватель каф. «Техника Высоких Напряжений», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: e.v.krivtsova@urfu.ru. Тел.: +7(908)636-53-44

Vladislav I. Lusgin, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Department «High-Voltage Technique», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: vil-26@el.ru. Ph.: +7(982)632-11-50

Alexander S. Koptakov, Postgraduate, Assistant Professor, Department «High-Voltage Technique», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: a.s.koptakov@ya.ru. Ph.: +7(919)386-68-37

Sergey J. Kropotukhin, Head of Research Laboratory, Department «High-Voltage Technique», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: s.j.kopotukhin@urfu.ru. Ph.: +7(908)904-78-52

Elena V. Krivtsova, Senior Lecturer, Department «High-Voltage Technique», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: e.v.krivtsova@urfu.ru. Ph.: +7(908)636-53-44

Аннотация: В статье описаны ультразвуковые излучатели большой мощности, осуществляющие обработку несмешиваемых жидкостей и твердых порошковых материалов при высокоэнергетическом акустическом воздействии. Приведены результаты разработки и конструирования магнитострикционных преобразователей и установок для получения нанодисперсных эмульсий и суспензий. Показана эффективность получения нанодисперсных эмульсий ультразвуковым методом на примере получения водомасляных эмульсий.

Abstract: This article describes an ultrasonic emitters high power engaged in the processing of immiscible liquids and solid powder materials with high-energy acoustic impact. The results of the development and design of magnetostrictive transducers and systems for obtaining nanosized emulsions and suspensions. The efficiency of obtaining nanosized emulsions by ultrasound at the example of a water-in-oil emulsions.

Ключевые слова: ультразвуковые технологии; магнитострикционные преобразователи; ультразвуковые генераторы; нанодисперсные эмульсии.

Key words: ultrasonic technology; magnetostriction transducers; ultrasonic generators; nanosized emulsions.

В современных ультразвуковых установках передача механических колебаний в жидкость обеспечивается непосредственно волноводами-концентраторами, возбуждаемых пьезокерамиче-

скими преобразователями [1, 2]. При непосредственном вводе волновода-концентратора в жидкую среду размеры стенок рабочей камеры выбирают такими, чтобы создавался резонансный режим

самой обрабатываемой жидкости в этих полостях и увеличивалась разветвленность кавитации.

Поддерживая определенное соотношение между статическим и акустическим давлениями в рабочей камере, можно управлять процессами кавитации - плавно изменять интенсивность воздействия ультразвукового поля на обрабатываемые жидкости и суспензии. Ступенчатого изменений интенсивности воздействия можно достичь, изменяя размер резонансных кавитационных пузырьков путем перехода на другие частотные диапазоны, выделенные нормативными документами для технологических целей. В этом случае конструкция установки должна предусматривать смену акустического звена для получения требуемой частоты обработки.

Периодические резонансные биения, возникающие от наложения акустических волн кратных частот, вызывают всплески амплитуд локально избыточного давления, пропорционально квадрату которого возрастает акустическая интенсивность обработки жидкости [3, 4].

На рис. 1 приведена конструктивная схема двух-частотного электроакустического эмульгатора, которая реализует эффект сложения радиального и аксиального акустических полей кратных частот.

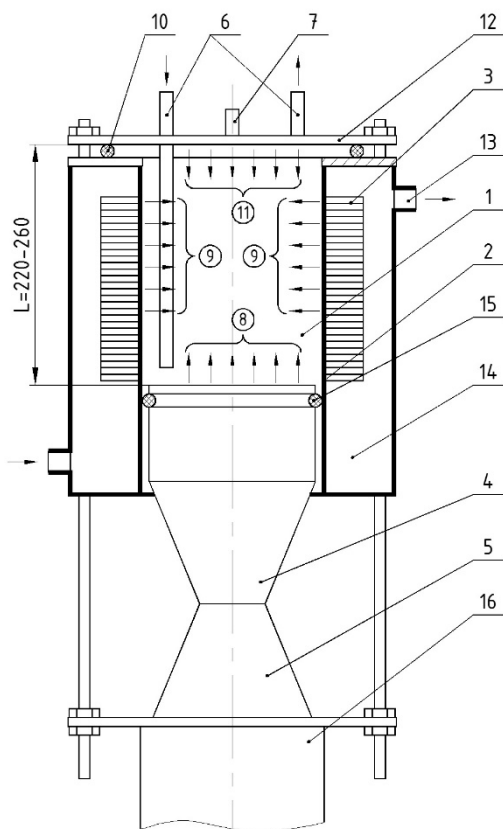


Рис. 1. Ультразвуковой эмульгатор/диспергатор
1 – Рабочая камера;

- 2 – Стенка (труба) рабочей камеры;
- 3 – Магнитопровод (магнитострикционный пакет) кольцевого преобразователя;
- 4 – Концентратор стержневого преобразователя;
- 5 – Стержневой магнитострикционный преобразователь;
- 6 – Штуцеры подачи и отвода обрабатываемой жидкости;
- 7 – Штуцер подачи газа;
- 8 – Направление распространения продольных бегущих волн, создаваемых стержневым преобразователем;
- 9 – Направление распространения цилиндрических волн, создаваемых кольцевым преобразователем;
- 10 – Уплотнительное кольцо;
- 11 – Направление распространения отраженной волны;
- 12 – Съемная крышка;
- 13 – Штуцер бачка охлаждения кольцевого преобразователя;
- 14 – Бачок охлаждения кольцевого преобразователя;
- 15 – Уплотнительное кольцо;
- 16 – Бачок охлаждения стержневого преобразователя.

Правильный выбор длины рабочей камеры приводит к интерференции падающей и отраженной волн. В результате суперпозиции в рабочей камере формируется режим стоячей волны. Для незатухающих колебаний амплитуда стоячей волны определяется выражением

$$A_c = 2A \cos \frac{2\pi \cdot r}{\lambda}, \quad (1)$$

где A – амплитуда бегущей волны;
 $r = L$ – текущее значение координаты, в частном случае равное длине рабочей камеры;
 λ – длина волны в обрабатываемой среде.

Связь амплитуды колебаний среды и интенсивности для стоячей волны выражается соотношением

$$I = \frac{1}{2} \omega^2 \cdot (2A)^2 \cdot \rho \cdot c, \quad (2)$$

где I – интенсивность выделения энергии;
 ω – круговая частота ультразвуковой волны;
 $Ac = 2A$ – амплитуда колебаний стоячей волны (амплитуда колебаний среды);
 ρ – плотность среды; c – скорость волны в среде.

Из выражения (1) и (2) видно, что в системах без потерь амплитуда колебаний среды в режиме

стоячей волны в два раза превышает амплитуду бегущей волны в результате чего интенсивность обработки увеличивается более чем в четыре раза.

При обработке эмульсий, особенно при обработке водноорганических суспензий, следует стабилизировать температурный режим обрабатываемой жидкости, поскольку при высоких температурах эффективность обработки снижается, а органические соединения могут разлагаться, увеличивая потери конечного продукта. Поэтому конструкцией эмульгатора должна быть предусмотрена эффективная система охлаждения обрабатываемой жидкости. Так же интенсивность процессов эмульгирования и диспергирования ограничивается усталостной прочностью металла, из которого изготавливаются излучающие поверхности и кавитационной эрозией этих поверхностей. Поэтому рабочие камеры необходимо выполнять из кавитационно-стойких сталей и сплавов, используя фокусировку акустических полей. Уменьшение эрозии излучающих поверхностей позволяет также повысить чистоту получаемого продукта – эмульсии/суспензии.

Разработан опытный образец установки «Эмульгатор-диспергатор», укомплектованный аксиальным и радиальным магнитострикционными преобразователями и ультразвуковым двухэнергетическим генератором модульного исполнения. Каждый преобразователь питается от своего модуля, которые обеспечивают необходимый режим работы, включая автоматическую подстройку резонансной частоты.

Таблица 1.

Характеристики установки
«Эмульгатор/диспергатор»

| | |
|---|-------------|
| Напряжение питания, В | 380 |
| Мощность, выходное напряжение и частота первого энергетического канала, В/кГц | 5,0/440/9,0 |
| Мощность, выходное напряжение и частота второго энергетического канала, В/кГц | 5,0/440/18 |
| Диаметр и длина рабочей камеры, мм | 150/220 |
| Избыточное давление в рабочей камере, МПа | 0,5 |

Принцип работы преобразователей основан на эффекте магнитострикции. Благодаря магнитострикционной деформации магнитопровод кольцевого преобразователя передает в обрабатываемую среду через стенку рабочей камеры радиальные механические колебания. Интенсивность ультразвуковых волн возрастает к центру трубы, и акустическое поле фокусируется в осевой линии рабочей камеры.

Концентратор стержневого преобразователя создает в обрабатываемой среде продольные ультразвуковые волны, которые направлены перпендикулярно к плоскости цилиндрических волн, создаваемых кольцевым преобразователем. Акустическое поле продольных волн частично сфокусировано к центру рабочей камеры. Фокусировка акустических полей позволяет снизить кавитационную эрозию излучающих поверхностей и концентрирует мощную энергию в локальном объеме рабочей камеры.

Благодаря наложению акустических полей с двумя резонансными частотами высокоэнергетические пузырьки разрушают прочные межмолекулярные связи, укорачивая молекулярные цепочки, и формируют условия для дальнейшего разрушения ослабленных межмолекулярных связей кавитационными пузырьками меньшего размера. Аналогичные процессы происходят при диспергировании.

Кроме этого, в камере двухчастотного эмульгатора возникают биения, приводящие к резкому мгновенному возрастанию амплитуды колебаний, что, наряду с увеличением интенсивности обработки, усиливает турбулентность акустических течений, способствующих перемешиванию жидкостей.

По результатам измерений зарегистрирована полидисперсность эмульсии с размером частиц 114 ± 21 нм, что подтверждает эффективность ультразвукового метода обработки водомасляных смесей для получения нанополидисперсных эмульсий.

Ультразвуковая установка может найти широкое применение в промышленности как эффективное средство получения нанодисперсных эмульсий и суспензий как в режиме порционной обработки жидкости в рабочей камере, так и в проточном режиме обработки больших объемов жидкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мощный ультразвук в металлургии и машиностроении / Под ред. О.В. Абрамова и М.В. Приходько. М.: Янус-К, 2006, 688 с.
2. Ultrasonic high-power reactor. - Telsonic AG. (Telsonic.com).
3. Патент РФ № 2284215. Кольцевой магнитострикционный преобразователь / Шестовских А.Е., Петров А.Ю., Лузгин В.И., Кандалицев Б.А. - Опубликовано 27.09.2006, бюл. № 27.
4. Патент РФ № 2284216. Ультразвуковая установка / Шестовских А.Е., Петров А.Ю., Лузгин В.И., Кандалицев Б.А. - Опубликовано 27.10.2006, бюл. № 30.